

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-083619

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl.

G01J 1/02  
G01J 1/04  
G02B 6/293  
G02B 6/42

(21)Application number : 09-256107

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 03.09.1997

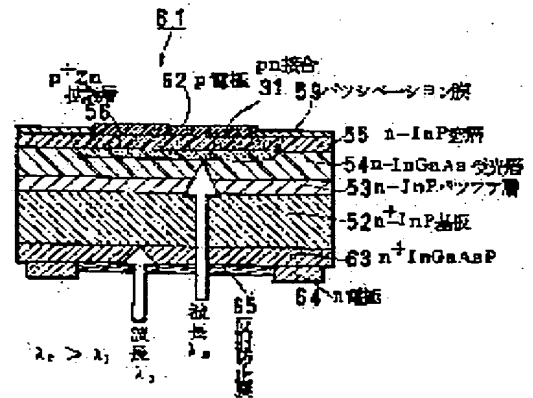
(72)Inventor : KUHARA MIKI  
NAKANISHI HIROMI  
TERAUCHI HITOSHI

## (54) LIGHT RECEIVING ELEMENT AND LIGHT RECEIVING ELEMENT MODULE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce the number of parts by making lights whose wavelengths are  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  enter through the aperture part of a first conductivity type electrode, absorbing  $\lambda_1$  with a filter layer, and making  $\lambda_2$  only reach a light receiving layer.

**SOLUTION:** An N-InP buffer layer 53, an N-InGaAs light receiving layer 54 and an N-InP window layer 55 are epitaxially grown in the conventional manner on an N<sup>+</sup> InP substrate 52. On the rear of the substrate 52, an N<sup>+</sup> InGaAs filter layer 63 ( $\lambda_g=1.42 \mu\text{m}$ ) is epitaxially grown, on which a ring type N electrode 64 is formed and an antireflection film 65 is formed in the central part. When a light of wavelength  $\lambda_1$  ( $1.3 \mu\text{m}$ ) and a light of wavelength  $\lambda_2$  ( $1.55 \mu\text{m}$ ) are made to enter through an aperture part of the N electrode 64, the light of wavelength  $\lambda_1$  is absorbed by the filter layer 63, because  $\lambda_1$  is shorter than the band gap  $\lambda_g$  of the filter layer 63. Since the wavelength  $\lambda_2$  is long, the light passes the layer 63 and reaches the light receiving layer 54. That is, a light receiving element which receives only the object wavelength and has the function of a wavelength branching filter is realized. Therefore a dielectric multilayer film filter and a wavelength branching filter are made unnecessary, and the number of parts can be reduced.



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-83619

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup> 識別記号  
 G 0 1 J 1/02  
 1/04  
 G 0 2 B 6/293  
 6/42

F I  
 G 0 1 J 1/02 B  
 1/04 B  
 G 0 2 B 6/42  
 6/28 C

審査請求 未請求 請求項の数14 F D (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平9-256107  
 (22) 出願日 平成9年(1997) 9月3日

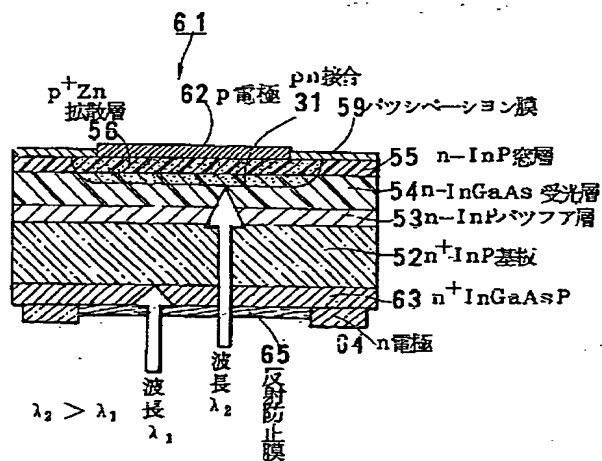
(71) 出願人 000002130  
 住友電気工業株式会社  
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
 (72) 発明者 工原 美樹  
 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住  
 友電気工業株式会社大阪製作所内  
 (72) 発明者 中西 裕美  
 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住  
 友電気工業株式会社大阪製作所内  
 (72) 発明者 寺内 均  
 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号住  
 友電気工業株式会社大阪製作所内  
 (74) 代理人 弁理士 川瀬 茂樹

(54) 【発明の名称】 受光素子及び受光素子モジュール

(57) 【要約】

【課題】 2つの異なる波長の光 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を用いて信号を送受信する双方向光通信において1本の光ファイバによって2波長の信号を送信するから波長分波器によって信号を分離する。波長分波器だけでは消光比が不十分であるからさらにその波長の光だけを通す誘電体多層膜フィルタを通す必要がある。このフィルタがなくても十分な消光比を実現できるような受光素子を提供する。

【解決手段】 受信すべき光の波長を $\lambda_2$ 、不要な光の波長を $\lambda_1$ とし( $\lambda_1 < \lambda_2$ )て、受光素子の基板の裏面に不要な光のエネルギーより高く、受信すべき光のエネルギーより低いバンドギャップをもつ結晶層をエピタキシャル成長させてフィルタとしこのフィルタを通して光を受光素子に導き入れるようにし、不要光をこれによって吸収させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の波長 $\lambda_1$ の光とそれより長い第2の波長 $\lambda_2$ の光( $\lambda_1 < \lambda_2$ )を用いた光通信において第2の波長 $\lambda_2$ の光のみを感受するための受光素子であって、n型又はp型のいずれかである第1伝導型の半導体基板と、半導体基板の一方の面にエピタキシャル成長させた基板と同じ第1伝導型の受光層と、受光層の一部に基板と反対の第2伝導型の不純物をドーピングして形成した第2伝導型のp型或いはn型領域と、受光層のなかに形成されるpn接合と、第2伝導型領域の上に形成される第2伝導型用の電極と、前記の半導体基板の他方の面にエピタキシャル成長させた波長 $\lambda_1$ の光のエネルギーより低く波長 $\lambda_2$ の光のエネルギーより高いバンドギャップを持ち $\lambda_1$ の光の透過率が1%以下である厚みを有するn型又はp型半導体結晶よりなるフィルタ層と、フィルタ層の上にリング状に形成された第1伝導型用の電極とよりなり、第1伝導型電極の開口部を通して $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を光を入射させ、フィルタ層によって $\lambda_1$ を吸収し、 $\lambda_2$ のみが受光層のpn接合に到達するようにしたことを特徴とする受光素子。

【請求項2】 フィルタ層が、基板と同じ第1の伝導型の半導体結晶のエピタキシャル層よりなることを特徴とする請求項1に記載の受光素子。

【請求項3】 フィルタ層が、基板と反対の伝導型である第2伝導型の半導体結晶よりなり、基板とフィルタの間に第2のpn接合が形成され、このpn接合の外周部は露出しており保護されていないものであることを特徴とする請求項1に記載の受光素子。

【請求項4】 フィルタ層が、基板と同じ第1の伝導型の半導体結晶と、第1伝導型結晶の中央部の一部に第2伝導型不純物をドーピングして形成した第2伝導型結晶とよりなり、その間にpn接合が存在しており、pn接合の終端部は電極を兼ねる金属膜によって覆われn領域とp領域が金属膜によって短絡されるようにしたことを特徴とする請求項1に記載の受光素子。

【請求項5】 第1の波長 $\lambda_1$ が $1.3\mu\text{m}$ であり、第2の波長 $\lambda_2$ が $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$ 帯である請求項1～4項のいずれかに記載の受光素子。

【請求項6】 第1伝導型がn型で、第2伝導型がp型であって、基板がn-InP単結晶よりなり、受光層がn-InGaAsよりなり、受光層の中央部にp型不純物をドーピングしたp型領域が形成され、p型領域にp電極が設けられ、フィルタ層がn型又はp型の $\text{In}_{0.66}\text{Ga}_{0.34}\text{As}_{0.76}\text{P}_{0.24}$ よりなり、フィルタ層の上にn電極が設けられていることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載の受光素子。

【請求項7】 フィルタ層であるn型またはp型の $\text{In}_{0.66}\text{Ga}_{0.34}\text{As}_{0.76}\text{P}_{0.24}$ 層の厚みが $5\mu\text{m}$ 以上あることを特徴とする請求項6に記載の受光素子。

【請求項8】 InGaAs受光層とp電極の間にIn

P窓層を有しInP窓層のp電極によって覆われない外周部はバッシン膜によって被覆されていることを特徴とする請求項6に記載の受光素子。

【請求項9】 受光素子チップの第2伝導電極の方をサブマウントに固定し、サブマウントをパッケージに固定することによって、受光素子チップをサブマウントを介して窓付きのパッケージに気密封止し、受光素子チップをレンズを介して光ファイバに光学的に結合し、光ファイバから出た光は第1伝導電極のリング状の開口からフィルタ層に入射できるようにした請求項1～8に記載の受光素子。

【請求項10】 第1の波長 $\lambda_1$ の光とそれより長い第2の波長 $\lambda_2$ の光( $\lambda_1 < \lambda_2$ )を用いた光通信において第2の波長 $\lambda_2$ の光のみを感受するための受光素子チップであって、n型又はp型のいずれかである第1伝導型の半導体基板と、半導体基板の一方の面にエピタキシャル成長させた基板と同じ第1伝導型の受光層と、受光層の一部に基板と反対の第2伝導型の不純物をドーピングして形成した第2伝導型のp型或いはn型領域と、受光層のなかに形成されるpn接合と、第2伝導型領域の上に形成される第2伝導型用の電極と、前記の半導体基板の他方の面にエピタキシャル成長させた波長 $\lambda_1$ の光のエネルギーより低く波長 $\lambda_2$ の光のエネルギーより高いバンドギャップを持ち $\lambda_1$ の光の透過率が1%以下である厚みを有するn型又はp型半導体結晶よりなるフィルタ層と、フィルタ層の上にリング状に形成された第1伝導型用の電極とよりなり、第1伝導型電極の開口部を通して $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を光を入射させ、フィルタ層によって $\lambda_1$ を吸収し、 $\lambda_2$ のみが受光層のpn接合に到達するようにした受光素子チップと、光ファイバ、光導波路、光ガイドなど光伝導媒体とをレンズを介してあるいはレンズを介せずに光学的に結合し、光伝導媒体から出射した光が、受光素子の第1伝導型用電極の開口をとって受光層のpn接合に至るようにしたことを特徴とする受光素子モジュール。

【請求項11】 受光素子チップの第2伝導型用電極の側をサブマウントに取り付け、受光素子をサブマウントを介してパッケージに気密封止し、光ファイバの終端を受光素子チップの第1伝導型用リング電極の開口に対向するようにパッケージに固定し、パッケージに固定したレンズによって光ファイバと受光素子を光学的に結合したことを特徴とする請求項10に記載の受光素子モジュール。

【請求項12】 光ファイバの終端を保持する第1の光コネクタと、受光素子を固定したパッケージを有する第2の光コネクタからなり、第1、第2の光コネクタは着脱自在であって、第1、第2の光コネクタを結合したとき光ファイバからの出射光が受光素子に入射するようにしたことを特徴とする請求項10に記載の受光素子モジュール。

【請求項13】 光導波路、光ファイバ或いは光ガイドなど光伝導媒体の終端を斜めに切断し、第1伝導電極が接触するよう受光素子チップを光伝導媒体の側面に固定し、光伝導媒体の斜め切断面で反射した光が、第1伝導電極のリング状開口を通して受光素子に入射するようにして事の特徴とする請求項10に記載の受光素子モジュール。

【請求項14】 光ファイバの先端を固定する部分とサブマウントを固定する部分を有するガイドブロックと、受光素子を側面が面一になるよう固定するサブマウントとを用いて、ガイドブロックに光ファイバと、受光素子を有するサブマウントを固定し、光ファイバの出射端面と、受光素子がレンズを介することなく直接に対向するようにしたことを特徴とする請求項10に記載の受光素子モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光ファイバに2つの異なる波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の光信号を一方方向或いは双方方向に通し、基地局と加入者の間で情報を伝送する光双方方向通信において、受信器として用いる受光素子、或いは受光素子と発光素子を一体化した光送受信モジュールに関する。

【0002】【光双方方向通信の説明】 近年光ファイバの伝送損失が低下し、半導体レーザ（以下LDと略す）や半導体受光素子（以下PDと略す）の特性が向上してきた。このため光を用いた様々な情報の伝送が可能になってきた。光を用いる通信であるので、光通信という。伝送されるべき情報の形態としては、電話、ファクシミリ、テレビ画像信号などがある。特に、波長が1.3 $\mu$ m帯の光や、1.5～1.6 $\mu$ m帯の光などの長波長の光を用いた通信の試みが盛んに行われている。最近では、1本の光ファイバを用いて信号を双方方向に送り、同時に信号を送受信できるシステムが検討されている。信号を双方方向に送るから双方方向通信と呼ぶ。この方式の利点は、ファイバが1本で済むことである。

【0003】図1は、このような双方方向通信のうち、異なる波長の光を用いる波長多重双方方向通信の原理図である。一つの局と複数の加入者が光ファイバによって結合される。ここでは加入者は一つだけ図示している。実際には数多くの分岐点があつて局からの光ファイバは多数の光ファイバに分岐して加入者の装置に至っている。

【0004】局側は、電話やTVの信号をデジタル或いはアナログ信号として増幅し、この信号によって半導体レーザLD1を駆動する。この信号は波長 $\lambda_1$ の信号となつて、光ファイバ1に入る。分波器2によって、中間の光ファイバ3に導かれる。これが加入者側の分波器4により光ファイバ5に入り、受光素子PD2によって受信される。これによって光電変換され電気信号P3となる。電気信号P3は、加入者側の装置によって増幅され

信号処理されて、電話の音声或いはテレビ画像として再生される。このように基地局から加入者側に向かう信号を下り信号といい、この方向を下り系という。

【0005】一方加入者側は、電話やファクシミリの信号を半導体レーザLD2によって波長 $\lambda_2$ の光信号に変換する。 $\lambda_2$ の光は、光ファイバ6に入射し、分波器4によって中間の光ファイバ3に導かれ、局側の分波器2を通して受光素子PD1に入る。局側の装置は $\lambda_2$ の光信号をPD1によって光電変換し、電気信号とする。この電気信号は、交換機や信号処理回路に送り込まれて適当な処理を受ける。このように局側へ信号を送る方向を上り系という。

【0006】【光の分波器の説明】 このように、2つの波長の光を用い、1本の光ファイバによって、光双方方向通信を行うためには、局側、加入者側どちらも光の波長を識別し光路を分離する機能が必要である。図1における分波器2、4がその機能を果たす。分波器は、波長 $\lambda_1$ と波長 $\lambda_2$ の光を、結合して1本の光ファイバに導入したり、二つの波長の光から、一方の光のみを選んで1本の光ファイバに取り出したりする作用がある。波長多重双方方向通信を行うには分波器が極めて重要な役割を果たす。

【0007】現在提案されている分波器にはいくつかの種類がある。図2～図4によって説明する。図2の例では、分波器は光ファイバまたは光導波路によって作られる。二つの光路8、9が一部分10で近接しており、ここで光エネルギーの交換がなされる。近接部10の間隔Dや距離Lによって様々の態様の結合を実現できる。

【0008】ここでは、光路8に $\lambda_1$ の光を、光路9に $\lambda_2$ の光を入射すると、光路11に $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のいずれもの光が出てくるようになっている。光路12にはいずれの光も入らないようになっている。ポートP1からの $\lambda_1$ とP2からの $\lambda_2$ が、いずれもP3に現れる。P4には光が出てこない。つまり $\lambda_1$ は隣接光ファイバには入らず、 $\lambda_2$ が位相条件を満足し、隣接光ファイバに全部移ってしまうのである。光ファイバや光導波路を用いるからこの分波器は、偏波依存性が少ないという長所がある。

【0009】導波路や光ファイバを進む光の経路については可逆性がある。図2のような分波器を、双方方向通信では、図3のようにして利用することができる。P1から光ファイバ8に $\lambda_1$ の光を入れ、P3から出るようにする。P3から $\lambda_2$ の光を入れてP2から取り出す。これは図1の分波器2、4として使うことができる。

【0010】図4は、多層膜ミラーを使うものである。二等辺三角形柱のガラスブロック13、14の斜辺面に誘電体多層膜を形成している。誘電体の屈折率と厚みを適当に組み合わせ、 $\lambda_1$ の光は全て透過し、 $\lambda_2$ の光は全て反射するようにしている。これは45°の角度で入射した光を反射させるから偏波依存性がある。この分

波器も図1の分波器2、4として利用できる。このような分波器は、分波・合波器とも呼ばれる。WDMということもある。光ファイバやガラスブロックによるものは既に市販されている。

#### 【0011】

【従来の技術】加入者側の光送受信モジュールについて説明する。図5において、局から加入者に向けて敷設された光ファイバ16の終端が光コネクタ17によって、屋内の光ファイバ18に接続される。加入者の屋内にあるONUモジュールには、光ファイバWDM（分波器）21が設けられる。光ファイバ18と光ファイバ19が、WDM21の内部で波長選択的に結合されている。光ファイバ18には光コネクタ22によって、LDモジュール25をつなぐ。光ファイバ19には光コネクタ23を介してPDモジュール27を接続する。

【0012】LD25、光ファイバ24は、上り系である。1.3 $\mu$ m帯光が加入者側の信号を局へと伝送する。光ファイバ26、PDモジュール27は下り系である。局からの例えば1.55 $\mu$ m帯信号を受けて、PDモジュールによって光電変換する。送信装置であるLD25は電話やファクシミリを信号を増幅し、変調する回路や、電気信号を光信号に変換する半導体レーザなどを含む。受信装置であるPDモジュール27は、局から送られたTV信号、電話などの光信号を光電変換するフォトダイオードと増幅回路、復調回路などを含む。

【0013】波長分波器21は、1.55 $\mu$ m帯光と1.3 $\mu$ m帯光を分離する作用がある。この例では、1.3 $\mu$ m帯を上り系の信号光、1.55 $\mu$ m帯を下り系の信号光として使っている。そのような場合、波長分波器において二つの異なる波長の光を効率よく分離しなければならない。本発明は、2つの波長の異なる光信号を用いて双方向通信をする場合における受光素子及び受信モジュールの改良に関する。

【0014】〔従来例に係る半導体受光素子モジュールの説明〕図6によって従来の半導体受光素子モジュールの一例を説明する。受光素子チップ41がヘッダ42の上面にダイボンドされる。ヘッダ42の下面にはリードピン43が設けられる。ヘッダ42の上面はキャップ44によって覆われる。キャップ44の中央には光を通すための窓45がある。キャップの外側にはさらに、円筒形のホルダ46が固定される。これはレンズ47を保持するためのものである。

【0015】レンズホルダ46の更に上には、円錐形のハウジング48が固定される。光ファイバ50の先端をフェルール49によって固定し、フェルール49がハウジングによって保持される。フェルール、光ファイバの先端51は斜め研磨してある。

【0016】受光素子チップの調芯のため、光ファイバに光を通し、受光素子チップ41の出力を監視しながら、ホルダ46の位置と、ハウジング48の位置、フ

ェルールの位置を決める。受光素子の半導体層によって、受光可能な波長が決まる。可視光の場合はSiの受光素子を使うことができる。しかし本発明では、近赤外光を用いるONUモジュールを対象にするから、Siのフォトダイオードは不適當である。赤外光を感受するためにはInPを基板とする化合物半導体の受光素子を用いる必要がある。

【0017】〔従来例に係る半導体受光素子チップの説明〕そこでInP基板を用いた長波長用の受光素子について述べる。図7は従来例に係る光通信用受光素子チップの断面図である。n型InP基板52の上に、n型InPバッファ層53、n型InGaAs受光層（光吸収層）54、n型InP窓層55がこの順にエピタキシャル成長されている。チップの中央部上方から亜鉛を拡散することによって、p型領域56を形成する。亜鉛拡散はn型InGaAs受光層の半ばにまで達している。つまりこの部分は、p型-InP窓層、p型InGaAs受光層となっている。pn接合がInGaAs受光層の内部に生ずる。

【0018】亜鉛拡散層56の上にリング状のp電極57を付ける。リング状p電極57の内側は光が入る部分である。光入射部分は反射防止膜58によって覆う。p電極57の外側はパッシベーション膜59によって保護される。基板52の裏面にはn電極60が形成される。このように基板の裏面は必ず電極が全面に形成されて光が通らないようになっている。これが従来例の受光素子の特徴の一つである。

【0019】p電極とn電極に電圧をかけてpn接合を逆バイアスする。光ファイバの端部から出た入射光は中央部の反射防止膜58、p型InP窓層、p型InGaAs層、pn接合を通りn型InGaAs54に至る。光が吸収されて電子正孔対を生ずる。逆バイアスされているから電子はn電極に向けて、正孔はp電極に向って走行する。為に電流が流れる。吸収された光子の量と電流が比例するから、入射光量を検出することができる。

【0020】InGaAs吸収層は、1.3 $\mu$ m光も1.5～1.6 $\mu$ m光も吸収することができる。InP窓層では光は吸収されない。半導体は、バンドギャップよりも小さいエネルギーの光はそのまま透過する。その光によって価電子帯の電子を伝導帯にまで上げることができないからである。つまりバンドギャップに対応する波長よりも長い波長の光に対して半導体は透明である。

【0021】反対に、十分な厚みがあれば、半導体はバンドギャップよりも大きいエネルギーの光を全部吸収する。その光によって価電子帯の電子を伝導帯に上げることができるからである。そこで窓層の半導体のバンドギャップを $E_g$ 、吸収層（受光層）のバンドギャップを $E_g$ とすると、 $E_g < h\nu < E_g$ の光は、窓層を通り、受光層によって感受されることになる。ここでhはプランク定数、 $\nu$ は光の振動数（周波数）である。つ

まり吸収層のバンドギャップ $E_g$ より大きく、窓層のバンドギャップ $E_g$ より小さいエネルギーの光がこの受光素子によって検出され得るのである。

【0022】さらにInGaAsと単純化して表現するが、基板であるInPとの格子整合の条件から、InとGaの比率は一義に決まる。 $In_{1-x}Ga_xAs$ と書いた時の混晶比 $x$ は一つの値に決まっている。つまりInPに整合するInGaAs層のバンドギャップは一義的に決定されるのである。図8は図7のようなInGaAs受光素子の感度特性を示す。横軸は光の波長( $\mu m$ )である。縦軸は感度( $A/W$ )である。0.9 $\mu m$ 以下(P領域)では感度が低く、0.95 $\mu m$ で感度が急に増加する。1.0 $\mu m$ ~1.5 $\mu m$ (Q領域)で感度は単調に増える。1.7 $\mu m$ から感度は急減し(R領域)、1.75 $\mu m$ で感度は0に落ちる。

【0023】良く知られているように、光の波長 $\lambda$ とエネルギー $E$ の間には、 $h\nu = hc/\lambda = E$ の関係がある。ここで $h$ はプランク定数である。 $\nu$ は光の振動数、 $c$ は光速である。感度の波長下限(0.95 $\mu m$ )を決めるのは、窓層(InP)のバンドギャップ $E_g$ である。これより高いエネルギーの光は全て窓層によって吸収されるから受光層(吸収層)まで入らない。

【0024】感度の波長上限(1.67 $\mu m$ )を決めるのは吸収層(InGaAs)のバンドギャップ $E_g$ である。これより低いエネルギーの光は吸収層を単に透過してしまうのでこの検出器によっては検知できない。つまり感度の立ち上がるP領域の波長を決めるのは窓層のバンドギャップで、感度の立ち下がるR領域の波長を決めるのは吸収層のバンドギャップである。このフォトダイオードはこのように広い感受幅をもつから、1.3 $\mu m$ 光にも1.55 $\mu m$ 光にも十分な感度を持っている。つまり同じフォトダイオードを、1.3 $\mu m$ の検出にも、1.55 $\mu m$ の検出にも用いることができる。

【0025】さらに光子(光子)のエネルギーは $h\nu = hc/\lambda$ であって、理想的には光子一つが電子正孔対を作り、 $2q$ ( $q$ は電荷素量)の電流を発生する。変換効率が100%の場合にそのようになる。つまり受光素子の効率が100%という場合、感度は $2q\lambda/hc$ ( $A/W$ )によって与えられる。図8において1.0 $\mu m$ ~1.55 $\mu m$ の間(Q領域)で感度が波長 $\lambda$ に単調に増えているのはこの関係による。高感度のフォトダイオードであれば必ずこのような感度曲線になる。

【0026】1.3 $\mu m$ 光と1.55 $\mu m$ 光とを用いて光通信の信号を伝送するシステムにおいて、いずれの波長の光をも感受できるフォトダイオードを使用するのは極めて好都合のように思える。しかし実はここに問題が伏在しているのである。

【0027】もう一つの問題は波長分波器にある。

【0028】波長分波器には一つの欠点がある。二つの

波長を扱い、これを1:1に分配をするだけであるのに、分離が不完全である。出力を1、2で表すと、 $\lambda_1:\lambda_2$ の比が、出力1で $\lambda_1:\lambda_2=1:\epsilon$ 、出力2で $\lambda_1:\lambda_2=\epsilon:1$ となる。消光比 $\epsilon$ が0にならない。せいぜい1/100の程度である。

【0029】従ってコネクタ部分や分波器などで反射散乱された不要な光(特に自分自身1.3 $\mu m$ の反射戻り光)を感じクロストークを生ずる。これは困る。分波器だけでは分離不完全であるために誘電体多層膜によってさらに消光比を0に近づけるようにする。すなわち図5のコネクタ23のと分波器の間に、1.3 $\mu m$ をカットするフィルタを挿入したりする必要があった。

【0030】一定の波長の光のみを感受する横型の受光素子(導波路型)が提案されている。それ以外の波長の光は遮断してしまうものである。これは波長分波器で分離した一方の光のみを高感度で検知するために開発される。

【0031】① 穴倉正人、田中滋久、松田広志、中村均、宮崎隆雄、辻伸二、「広トレランス導波路型PINフォトダイオード」、1995年電子情報通信学会総大会、

C-386p386(1995)

これは1.3 $\mu m$ と1.55 $\mu m$ を含む光を面に平行な導波路に入射すると、1.3 $\mu m$ 光のみを感じるようにしたフォトダイオードである。適当なバイアス電圧かけたとき、1.3 $\mu m$ と1.55 $\mu m$ の感度の比は23dB(200倍)であったと述べている。これは波長分波器によって光を分離した後に、1.3 $\mu m$ のみを感受するのに使われるフォトダイオードとして開発されたものである。波長分波器はもちろん必要になる。しかしこれは1.3 $\mu m$ の受光にのみ適している。本発明が対象にする1.55 $\mu m$ の受光には用いる事ができない。

【0032】

【発明が解決しようとする課題】従来の光受信モジュールには、このように3つの主要部品がある。波長分波器、フィルタ、受光素子の3つの部品である。部品点数が多いので高価額になる。これは双方向光通信の送受信器として致命的な欠陥と言わねばならない。

【0033】部品点数がより少ない光受信モジュールを提供する事が本発明の第1の目的である。より小型で低価額の光受信モジュールを提供する事が本発明の第2の目的である。長距離通信に好適な光受信モジュールを提供する事が本発明の第3の目的である。低価額低光損失のモジュールを提供する事によって光加入者系の実用化を多に促進することが本発明の第4の目的である。

【0034】

【課題を解決するための手段】なぜに、従来の光受信モジュールが大型に、高価になるのか?本発明者はこの問題について様々に考察した。

【0035】従来の受信器は、いずれの波長の光をも感

受できる受光素子を用いていた。つまり共通型の受光素子を使っていた。どの波長の光でも感受できるので便利なのである。しかし反面これが問題である。何れの波長の光にも感度があるので、予め信号光を空間的に分離しなければならなかったのである。空間的分離のために波長分波器や、誘電体多層膜が不可欠であった。波長の異なる光を空間分離し、異なる光路に導き、異なる光路の終点に感度共通型受光素子を設置し、これによってそれぞれの光の強度を検出していた。

【0036】本発明は感度共通型受光素子を用いない。感度固有型の受光素子を用いる。つまり対象となる波長 $\lambda_j$ のみを感受する固有の受光素子 $D_j$ を用いる。誘電体多層膜フィルタは用いない。波長分波器の機能を受光素子にもたせる。ために波長分波器は不要になる。本発明は半導体受光素子の物性に関する深い省察からなされたものである。良く考えれば半導体受光素子は特定の波長のみに感受するようにできる。

【0037】図8によって半導体受光素子の感度の波長依存性を説明した。この点は本発明にとって極めて重要であるのでさらに説明する。図22によって入射光のエネルギーと、半導体のバンド構造について述べる。伝導帯の下端のエネルギーを $E_c$ 、価電子帯の上端のエネルギーを $E_v$ とする。この差がバンドギャップである( $E_g = E_c - E_v$ )。伝導帯と価電子帯の間は禁制帯である。

【0038】不純物がない場合は、禁制帯には準位がない。伝導帯には電子が少ししかないし、価電子帯には電子が詰まっている。価電子帯の電子の不足分が正孔である。0Kでは伝導帯の電子、価電子帯の正孔の密度は0である。不純物準位がない場合、フェルミ準位は禁制帯の中間部に位置する。有限の温度では熱によって、伝導帯に電子、価電子帯に正孔が僅かに励起されている。

【0039】光子が入射すると、価電子帯の電子を伝導帯に励起する。これを $a$ によって示す。このような現象を電子正孔の励起という。これは当然に光のエネルギーがバンドギャップより高い時にしか起こらない。つまり $h\nu \geq E_g$ が条件である。半導体が十分な厚さを持てば、バンドギャップより高いエネルギーの光は全て吸収される。波長でいうと吸収端波長 $\lambda_g (=hc/E_g)$ より短い波長の光は全て吸収されるということになる( $\lambda < \lambda_g$ )。

【0040】反対にバンドギャップよりも小さいエネルギーの光が入射しても、矢印 $b$ 、 $c$ のようにエネルギーが足りない。禁制帯に電子準位がないので、矢印 $b$ 、 $c$ のような遷移は起こらない。つまりバンドギャップよりエネルギーの小さい光子( $h\nu < E_g$ )はそのまま半導体を通過する。このようなエネルギーの低い光に対して半導体は透明である。波長でいうと、吸収端波長 $\lambda_g$ より長い波長の光は半導体を透過できるのである。

【0041】以上の説明は真性半導体の場合であって禁

制帯に電子準位のない場合である。しかし $n$ 型、 $p$ 型半導体の場合であっても、多くの場合浅い不純物準位 $E_n$ 、 $E_p$ を作る。これを図22によって説明する。

【0042】この場合、遷移の起こるエネルギーの限界は( $E_g - E_n$ )或いは( $E_g - E_p$ )となる。これらの準位 $E_n$ 、 $E_p$ はバンドギャップに比較して数百分の1～十分の1程度である。であるから $n$ 型、 $p$ 型の半導体でも、吸収端が少しずれるだけで殆ど同じ事が言える。

【0043】 $E_g$ のように深い準位を作る不純物は、伝導性の制御の為にドーピングしない。良質のエピタキシャル膜はこのような深い不純物準位を持たない。 $n$ 型、 $p$ 型の場合は吸収されるフォトンエネルギーの限界がバンドギャップ $E_g$ の代わりに、( $E_g - E_n$ )或いは( $E_g - E_p$ )となる。しかし殆ど値が変わらないので、以後、簡単にバンドギャップ $E_g$ によって代表する。

【0044】つまり何れにしても、半導体の内部で、バンドギャップ $E_g$ より高いエネルギー $h\nu$ の光子( $E \geq E_g$ ; $\lambda \leq \lambda_g$ )は吸収され、低いエネルギーの光子( $E < E_g$ ; $\lambda > \lambda_g$ )は透過する。つまり半導体はそれ自身波長選択性がある。これまで、半導体素子自体を波長選択素子として利用したものはなかった。本発明者は半導体の波長選択性を巧妙に利用する。そして半導体の波長選択性を利用した素子を初めて提供する。以下に実施例によって本発明を説明する。

【0045】図9は、InGaAsを受光層とするフォトダイオードの例である。これは二つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ともに受信する従来のフォトダイオードである。 $n$ -InP基板52の上に $n$ -InPバッファ層53、 $n$ -InGaAs受光層54、 $n$ -InP窓層55がある。窓層55の中央部は亜鉛拡散による $p$ 型領域56になっておりここにはリング状 $p$ 電極57がある。InP窓層55の周辺部にはバッシベーション膜59があり $pn$ 接合の端を保護する。 $n$ -InP基板52の裏面全面には $n$ 電極60がある。 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ はどのような波長であっても良いが、一例として、 $\lambda_1 = 1.3\mu m$ 、 $\lambda_2 = 1.55\mu m$ として説明する。受光層の材料であるInGaAsはいずれも波長の光をも吸収し感受する。InPのバンドギャップは $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のエネルギーより高く、InGaAsのバンドギャップは $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のエネルギーより小さいからである。このような組み合わせでは波長選択性がでてこない。

【0046】本発明の目的は、 $\lambda_1$ を落とし、 $\lambda_2$ だけを感じるといように波長選択性あるフォトダイオードを与える事である。そのためには $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 間にバンドギャップのある波長選択性ある層を素子構造のなかに取り入れるる事が必要である。

【0047】そこで、このInGaAs層の入射側に、例えば $\lambda_1 = 1.3\mu m$ を吸収するInGaAsP層を設ける仮定しよう。そうすれば $\lambda_1$ を落とし、 $\lambda_2$ だけ

を通すフィルタとしての役割を機能を期待することができる。

【0048】例えば図10に示すような透過特性があれば $\lambda_1$ と $\lambda_2$ を区別することができる。これは、バンドギャップ $\lambda_g = 1.42\mu\text{m}$ をもつ結晶によってもたらされる。 $\text{InGaAsP}$ の組成でいうと、 $\text{In}_{0.66}\text{Ga}_{0.34}\text{As}_{0.76}\text{P}_{0.24}$ の4元混晶である。これは $1.3\mu\text{m}$ を吸収し、 $1.55\mu\text{m}$ を透過する。 $1.42\mu\text{m}$ に限らず、 $\lambda_g$ が $1.3\mu\text{m}$ と $1.55\mu\text{m}$ の間にある結晶であればそのような性質がある。この $\text{InGaAsP}$ 混晶を受光側に乗せると、 $1.3\mu\text{m}$ を吸収し $1.55\mu\text{m}$ を通すものが得られるはずである。

【0049】しかし話はそう単純でない。もしもただ単に、 $\text{InGaAs}$ 受光層の上に、 $\text{InGaAsP}$ のフィルタ層を設けただけであると、ここにも電界がかかっているのであるから、 $1.3\mu\text{m}$ によって発生したキャリアが $1.55\mu\text{m}$ によるキャリアと混ざって電極に流れ、やはり $1.3\mu\text{m}$ を受信してしまうことになる。クロストークは減少しない。元々の受光層とフィルタ層は空間的に分離していなければならない。

【0050】【実施例①：裏面にn型フィルタ層を設ける】そこでいろいろ考えた末に、まず図11のフォトダイオード構造を考えた。基板に関して受光層とは反対側に $\lambda_1$ を落とすフィルタを設ける。そのためn型の $\text{InGaAsP}$ 吸収層(フィルタ)をn- $\text{InP}$ 基板の裏面に形成する。そして裏面入射型とする。フィルタ層を、受光層と空間的に分離するためには、フィルタ層は基板の裏面に設ける他はない。そして不要光を除いていてから受光層に至るようにする必要があるので裏面入射型とせざるをえない。

【0051】n- $\text{InP}$ 基板52の上にn- $\text{InP}$ バッファ層53、n- $\text{InGaAs}$ 受光層54、n- $\text{InP}$ 窓層55をエピタキシャル成長させる。この点は従来例と同じである。さらに、それに加えてn- $\text{InP}$ 基板52の裏面にn<sup>+</sup>の $\text{InGaAsP}$ フィルタ層63( $\lambda_g = 1.4\mu\text{m}$ )をエピタキシャル成長させる。このようなエピタキシャル層を裏面に形成することが本発明の顕著な特徴である。表裏面のエピタキシャル成長の順序は逆でも良い。

【0052】つまりこの $\text{InP}$ ウェファは両面エピタキシャルウェファである。表面側には通常のフォトダイオードと同様に、マスクをして亜鉛拡散してp領域56を形成する。pn接合31が $\text{InGaAs}$ 受光層54の中に形成される。p領域56の上にp電極62を取り付ける。但しこのp電極はリング状でなくて一様板状でよい。光がp側から入射しないからである。p電極62の周囲はパッシベーション膜59によって覆う。

【0053】裏面側のn<sup>+</sup>- $\text{InGaAsP}$ フィルタ層63の上にはリング状のn電極64を形成する。n<sup>+</sup>- $\text{InGaAsP}$ フィルタ層63の中央部には反射防止膜

65を被覆する。ここではサフィックスを省略しているが、フィルタ層の組成は前述のように $\text{In}_{0.66}\text{Ga}_{0.34}\text{As}_{0.76}\text{P}_{0.24}$ である。以後も同様の組成であるが簡単のためにサフィックスを省略する。

【0054】 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  光は基板の裏面側から入射する。 $\lambda_1$  ( $1.3\mu\text{m}$ ) はフィルタ層63のバンドギャップ $\lambda_g = 1.42\mu\text{m}$ より短波長であるからフィルタ層で吸収される。フィルタ層でキャリアを生ずるが、これが電極にまで到達しないで再結合し消滅する。ところが $\lambda_2$  は、フィルタ層のバンドギャップより長波長であるからそのままフィルタ層を透過する。図10に示すとおりである。上方のn- $\text{InGaAs}$ 受光層54には $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$ だけしか到達しない。だからこの受光素子は $1.55\mu\text{m}$ だけを感じ受ける。波長選択性があるフォトダイオードとなる。

【0055】n型基板の上のn型のフィルタ層であるからここにpn接合ができない。n電極64には正電圧を、p電極62には負電圧を掛けるから、フィルタ層63、基板52、バッファ層などには電圧がかからない。電圧はpn接合31に掛かる。ここで電圧に応じた厚みの空乏層ができる。裏面に入射した $\lambda_1$  はフィルタ層で完全に吸収される。吸収されて電子正孔対を作るが、電界が掛かってないのでキャリアは殆ど動かない。濃度差によって拡散するがその速度は僅かである。n型層にできた電子は周りにも電子が沢山あって別段どうということもない。正孔は電界がなくて動きが遅いのでやがて周りの電子と再結合して消滅する。つまりこれらは電極に到達する前に再結合して消滅し熱になるだけである。であるから $1.3\mu\text{m}$ 光は光電流にならずに完全に消滅する。

【0056】 $1.55\mu\text{m}$ はn型 $\text{InGaAsP}$ によって吸収されないで、表面近くの受光層にまで至りここで吸収される。代わりに電子正孔対ができる。pn接合近くで強い電界があるのでこれを感じて電子はn側へ、正孔はp側と走行しそれぞれ光電流となるのである。つまりn- $\text{InP}$ 基板の裏面に設けた $\text{InGaAsP}$ は、 $1.3\mu\text{m}$ を遮断し $1.55\mu\text{m}$ を通すフィルタとして機能し得るのである。 $\text{InGaAsP}$ フィルタを裏面に設けた $\text{InGaAs}$ 裏面入射型フォトダイオードは $1.3\mu\text{m}$ に不感で、 $1.55\mu\text{m}$ を感じ受ける選択的な光検出器となる。

【0057】【実施例②：裏面p型フィルタ層を設ける】実施例①はn型基板の裏面にn型の $\text{InGaAsP}$ フィルタ層を設けたものであるからここでできた電子の一部はn側電極に至る。その分の正孔は電子と再結合する。これは結局光電流が少し流れたということである。光によって生じたキャリア(電子正孔)をもっと速く再結合させて消滅させる方が好ましい。

【0058】そのためにはフィルタ層の近傍にpn接合があつてこれに電界を掛けるようにするのが良い。そこ



で次に図12に示すフォトダイオードを創案した。これはn型InP基板の裏面にn型ではなくてp型のInGaAsPフィルタ層を設けるものである。

【0059】n-InP基板52の表面にn-InPバッファ層53、n-InGaAs受光層54、n-InP窓層55をエピタキシャル成長させる。この点は従来例と同じである。さらに、それに加えてn-InP基板52の裏面に $p^+$ -InGaAsPフィルタ層( $\lambda_g = 1.4\mu m$ )67をエピタキシャル成長させる。実施例⑩はn型InGaAsPをフィルタとするが、この実施例ではp型InGaAsPをフィルタとする。n型とp型の違いがあるが、前例と同じようにこのInPウェファは両面エピタキシャルウェファである。

【0060】表面側には通常の写真ダイオードと同様に、マスクをして亜鉛拡散してp-領域56を形成する。pn接合31ができる。p領域56の上にp電極62を取り付ける。前例と同じくこのp電極62はリング状でなくて一様板状である。光が、p側から入射しないからである。p電極62の周囲はパッシベーション膜59によって覆う。pn接合31の端はパッシベーション膜59によって被覆される。

【0061】裏面側の $p^+$ -InGaAsPフィルタ層67の上にはリング状のn電極64を形成する。但しn電極64といっても接触するのはp型材料であるから、電極材料はp電極用のものを使う必要がある。この点でn電極64は図11や図14のものと違う。 $p^+$ -InGaAsフィルタ層67の中央部には反射防止膜65を被覆する。

【0062】するとp-InGaAsPとn-InP基板の間に新たなpn接合32ができる。つまりpn接合31、32が2重にできる。フィルタ層と基板の間のpn接合32は順バイアスされるので電界は殆ど上側の受光層のpn接合31に掛かることになる。

【0063】下側のpn接合はチップの側面に露呈している。ここをパッシベーション膜で覆わないから漏れ電流が流れる。この電流によってpn接合を短絡する。InGaAsPフィルタ層の中で $1.3\mu m$ がフォトキャリアを発生する。pn接合には自然に電圧降下がおこるので正孔はn-InPに加速して流れここで再結合する。電子はp-InGaAsPの中の多数キャリアである正孔と結合する。 $1.3\mu m$ によって生じたキャリアは電流を流すに至らない。

【0064】図13はこの受光素子の等価回路図である。上方に描かれた受光層のpn接合31と、フィルタ層のpn接合32があり直列につながれる。受光層のpn接合31は逆バイアスされ、フィルタ層のpn接合32は順バイアスされる。抵抗68はpn接合露出部68が電荷を流す作用があるのでこれを等価的に示したものである。 $1.55\mu m$ による光電流はpn接合32と抵抗68を通じて流れる。

【0065】[実施例③：pn接合を短絡する]前例ではフィルタ層に作ったpn接合を露呈する事によって実質的に短絡させている。より積極的にフィルタ層のpn接合32を短絡させる事も可能である。そうすると $1.3\mu m$ 光によってできた不要キャリアをより速く消滅させる事ができる。しかしpn接合がチップの側面に出るのでは短絡することができない。裏面にpn接合が露呈する必要がある。露呈したpn接合を金属電極によって短絡する。図14にこのような受光素子70を示す。

【0066】n-InP基板52の上にn-InPバッファ層53、n-InGaAs受光層54、n-InP窓層55をエピタキシャル成長させる。さらに、n-InP基板52の裏面に $n^+$ のInGaAsPフィルタ層( $\lambda_g = 1.4\mu m$ )63をエピタキシャル成長させる。つまりこのInPウェファは両面エピタキシャルウェファである。前例とちがって基板の裏面にはn型のInGaAsPを設けるこの点で実施例⑩に似ている。

【0067】表面側には通常の写真ダイオードと同様に、マスクをして亜鉛拡散してp-領域56を形成する。pn接合31ができる。p領域56の上にp電極62を取り付ける。前例と同じくこのp電極はリング状でなくて一様板状である。光がp側から入射しないからである。p電極62の周囲はパッシベーション膜59によって覆う。裏面側の $n^+$ -InGaAsPフィルタ層63には更にマスクして、亜鉛拡散を行う。

【0068】亜鉛拡散によって中央部にp-InGaAsP部69ができる。このp領域69はInPでなくてInGaAsPのp領域であり、上部のp領域56よりも広い。pn接合32がInGaAsP層の内部に生成される。pn接合の端部を含んでn-InGaAsP63と、p-InGaAsP69の一部にリング状のn電極兼短絡電極64が形成される。

【0069】このn電極64は実施例⑩と同じくn電極用の材料で作る。この電極はn-領域とp-領域にまたがっており、pn接合を短絡するという積極的な役割を持つ。もちろんn電極としての作用をも持っている。p-InGaAsP69は反射防止膜65によって覆われる。

【0070】 $\lambda_1 + \lambda_2$ の光は、裏面から入射する。 $\lambda_1$  ( $1.3\mu m$ )はp-, n-InGaAsP層69、63で吸収されキャリアを生ずる。このpn接合は順バイアスであるから電界が弱くてキャリアの運動は鈍い。正孔はn-領域に入り少数キャリアとなり、電子はp-領域にいつて少数キャリアとなる。少数キャリアであるから速度が遅いとやがて多数キャリアと衝突し再結合してしまう。図15は図14のフォトダイオードの等価回路である。pn接合32が電極64によって短絡されているということが図示される。

【0071】[実施例4：PDチップを金属パッケージに収容した受光素子]フォトダイオードチップを金属パ

パッケージに実装した実施例を図16によって説明する。裏面入射型であるから、図11、図12、図14のフォトダイオードチップ61、66、70を上下逆転させてパッケージに実装する。何れでも良いがここでは受光素子70を示している。

【0072】ステム71は金属製（例えばコパール）であり、アノードピン72、ケースピン73、カソードピン74等を備える。アルミナなど絶縁体の両面をメタライズしたサブマウント75をステム71に半田付けし、さらにサブマウント75にPDチップのp電極62を半田付ける。チップはステムの丁度真中になるように位置決めする。サブマウントのメタライズはワイヤ80によってアノードピン72に接続される。つまりp電極62をピン72に接続しているのである。

【0073】チップは上限反転しているから、下から順に、p領域56、InP窓層55、InGaAs受光層54、InPバッファ層53、InP基板52、InGaAsPフィルタ層63、p領域66が並ぶことになる。p領域の反射防止膜65が上向きの面となる。これが光の入射面となる。フィルタ層上にあるn電極64（カソード）がワイヤ76によってカソードピンに接続される。キャップ77はレンズ78が付いたものであって、調芯したのちステムに溶接する。光ファイバ81が集光レンズ78の外側に設けられる。アノード（p電極62）には負電圧が、カソード（n電極64）には正電圧が印加されるので、電圧は下側のpn接合31に掛かっている。

【0074】光ファイバ81からは1.3 $\mu$ m、1.55 $\mu$ mの2種類の光が出てレンズによって集光されPDチップに入る。1.3 $\mu$ mは上方のInGaAsPフィルタ63によって完全に吸収される。1.55 $\mu$ mはエネルギーが、InGaAsPフィルタのバンドギャップよりも小さいからフィルタを通過して下側のpn接合31に至りここで電子正孔対を作りだす。ここには強い電界が存在するので電子はn電極64（カソード）へ、正孔はp電極62（アノード）へ速やかにドリフトする。これが回路を廻る電流になる。つまり光電流が流れる。1.55 $\mu$ m光の入射によって光電流が流れ、1.3 $\mu$ m光はそれまでに吸収され光電流を生じない。だから選択的に1.55 $\mu$ mだけを受感する。光路を空間的に分離する必要がない選択フォトダイオードである。

【0075】【実施例5：光導波路、光ガイド、光ファイバと一体化したもの】光ファイバ、光導波路、光ガイドなど光を導く媒体の終端部に直接に接合することもできる。直付けするとレンズは不要であるし場合によって

はパッケージも簡略化できる。調芯作業も省略できる。図17にこれを示す。光導波層、光ガイド、光ファイバの終端部を斜めに切断する。切断部83で光が反射されるので光の向きが変わりコアから出て行きさらに媒体から横方向に射出することになる。

【0076】切断角を45°にしておくと丁度側面に垂直に光が出る。そこで媒体の側面に本発明のPDチップを基板側が下になるように固定する。裏面入射型のPDでありこの場合接合側から光がくるので、裏面側を媒体に固定することができ極めて好都合である。最下点にあるInGaAsPフィルタが1.3 $\mu$ mを吸収し、InGaAs受光層54、pn接合31にまで到達しない。1.55 $\mu$ mのみがpn接合31に至り光電流を発生する。

【0077】レンズが不要でありパッケージも省くことができ媒体の終端に寄生する小型の受光素子とする事ができる。同一平面上に増幅器などを設けた電子回路などを構成するのに好都合の形態になっている。

【0078】【実施例6：チップを横向きに固定し光ファイバと対向】図18によって横型の実施例を説明する。本発明のチップをp電極が接触し面一になるようにサブマウント98に固定する。平坦なガイドブロック90の上にサブマウントとともに横に寝かして固定している。ガイドブロック90の先端にはファイバ固定部91があつてここにファイバが固定される。ファイバ81の先端が本発明のPDの裏面側の入射面に対向している。フィルタ層63、67があるので、1.3 $\mu$ mはここで吸収され奥へ侵入することができない。1.55 $\mu$ mだけが感受される。横型の配置となるので、図16のものよりも小型安価になる。これも同一平面上に増幅器などの電子回路素子と一体に配置するのに都合がよい。

【0079】【実施例7：受光素子モジュールに組立】本発明のPDは、図20のようなビッグテイル型の受光素子モジュールとすることもできる。そのためには図13に示したPDチップを図19のようにパッケージに実装しさらに図20のようなモジュールに組み立てる必要がある。そこで図13のチップ70の製造方法、図19の実装方法などからモジュールの組立に付いて説明する。

【0080】図14のPDチップ70は次のような工程によって作製する。n-InP基板52の一方の面に、n-InPバッファ層53、n-InGaAs受光層54、n-InP窓層55をクロライドVPE法によってエピタキシャル成長させた。それぞれの膜厚d、キャリア濃度nは次の通りである。

【0081】

n-InP基板52      d=350 $\mu$ m    n=5 $\times$ 10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>

【0082】

n-InPバッファ層53      d=    2 $\mu$ m    n=2 $\times$ 10<sup>15</sup>cm<sup>-3</sup>

【0083】

n-InGaAs受光層54      d=    4 $\mu$ m    n=1 $\times$ 10<sup>15</sup>cm<sup>-3</sup>

【0084】

n-InP窓層55 d=

【0085】このエピタキシャルウエハーの裏面側つまり基板面に、 $n\text{-In}_{0.66}\text{Ga}_{0.34}\text{As}_{0.76}\text{P}_{0.24}$ をクロライドVPEでエピタキシャル成長させた。この膜厚は $d=5\mu\text{m}$ 、 $n=2\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ である。この裏面エピタキシャル層は $1.3\mu\text{m}$ に対する吸収係数が $\alpha=1\times 10^4\text{cm}^{-1}$ である。膜厚を $5\mu\text{m}$ にする理由は、そのときの透過率Tが

【0086】 $T=\exp(-\alpha d)=0.007$

【0087】となり、透過率が0.7%となる。つまり99%以上が $5\mu\text{m}$ のフィルタ層によって吸収されるからである。このようにすると、 $1.3\mu\text{m}$ 光は分光波器によって1/100以下に減り、さらにこのInGaAsPフィルタによって1/100以下に減る。併せて1/10000以下に減少することになる。実用上要求される40dBという消光比を満足する事ができる。

【0088】この両面エピタキシャルウエファに、両面マスク合わせ、フォトリソ、Zn拡散、蒸着などの技術を使って、ウエハー表面には、チップサイズに応じた寸法の $p^+\text{-Zn}$ 拡散層56、 $n\text{-InP}$ 窓層の上の $\text{SiN}_x$ パッシベーション膜59、AuZn系p電極62を形成した。ウエハーの裏面側InGaAsPフィルタの上には、 $p^+\text{-Zn}$ 拡散層69、 $\text{SiON}$ パッシベーション膜（反射防止膜）65、AuGeNi系n電極64を形成した。

【0089】ここでPDのチップサイズは $550\mu\text{m}\times 550\mu\text{m}$ である。InGaAs受光層54の、Zn拡散層半径（受光径）は $100\mu\text{m}$ とした。裏面の入射面InGaAsPフィルタ側の開口部直径（リングn電極の内径）はより広く $300\mu\text{m}$ 径とした。n電極が入射光を遮断しないようにするためである。ウエハープロセスによって多数のPD単位が製作されたので縦横にウエハーを切ってチップとする。こうして図14のPDチップができた。

【0090】つぎに図19に示すようなフォトダイオードを作る。鉄(Fe)製3ピンのステム111中央に、両面メタライズしたアルミナ製サブマウント120をAuSn半田によって半田付けしておく。PDチップ70を上下反対にして、p電極62側を、サブマウント120の上に、SnPbによって半田付けした。p電極62はサブマウント上面と電気的に接続される。サブマウント上面とアノードピン113がAuワイヤで接続される。リング状のn電極64が上を向いている。 $20\mu\text{m}$ 径のAuワイヤ121によってリング状n電極64がカソードピン114に接続される。

【0091】さらに窒素( $\text{N}_2$ )雰囲気、キャップシールする。キャップ124にはBK-7ガラスの球レンズ126付きのキャップを利用している。そうするとレンズが窓ガラスを兼ねて費用節減できる。もちろんレン

2μm n=2×10<sup>15</sup>cm<sup>-3</sup>

ズは別にして、平坦窓ガラス付きのキャップを使っても差し支えない。こうして図19のパッケージに実装された受光素子となる。

【0092】さらにこれを使って、図20の受光素子モジュールを作製する。シングルモードファイバ130の先端をフェルール136に差し込んで固定し先端を斜め研磨しておく。頂部が狭くなった円筒形状のステンレス製フェルールホルダー133の通し穴に、フェルール136を差し込んでおく。フェルールホルダー133の円筒端面はステム111の直径とほぼ同じ大きさをもつ。ホルダー133の端面をステム111に当てて、光ファイバに光を通し、PDでこれを検出するようにする。ホルダー端面をステム面内で動かして最大感度点を探し、そこでA部をYAGレーザによって溶接する。

【0093】つぎにフェルール136を、ホルダー133に対して軸方向に動かして最も感度の良い点を探す。最大感度を得る点が見つかるとBの位置でYAG溶接する。さらに光ファイバの根元付近での過度の曲がり为了避免のために、ゴム製のベンドリミッタ134をかぶせる。こうしてビッグテイル型の受光素子モジュールが作製された。

【0094】このPDモジュールの、 $1.3\mu\text{m}$ 光と $1.55\mu\text{m}$ 光に対する感度を測定した。PDの逆バイアスは5Vである。

【0095】

1.  $3\mu\text{m}$ 光に対する感度は、 $0.01\text{A/W}$ 以下

1.  $55\mu\text{m}$ 光に対する感度は、 $1.0\text{A/W}$

【0096】であった。 $1.55\mu\text{m}$ に対する感度は良好である。 $1.3\mu\text{m}$ にはほとんど感じない。消光比は1/100以下であった。優れた波長選択性のある受光素子である。

【0097】[実施例8：レセプタクル型受光素子モジュールへ] 前述のビッグテイル型の場合は光ファイバがモジュールに固定され光ファイバの着脱のためには別に光コネクタが必要であった。ここではさらに着脱自由な光コネクタ機能を兼ね備えた受光素子モジュールとしてレセプタクル型のものを挙げよう。図21は本発明のPDチップを組み込んだレセプタクル型PDモジュールを示す。図19のパッケージ入りのPDから出発する。ステム111の上に円筒形のPD固定フランジ140が固定される。

【0098】これは上部にダミーファイバ142を把持するダミーファイバホルダー141を有する。ダミーファイバは短いファイバ片でありここに固定されている。PD固定フランジ140の上端面にはネジ付き円盤状の雌型ハウジング143が溶接される。雌型ハウジング143の反対側の端面144の外周には雄螺部147が刻まれている。ハウジング143の中心を貫く穴にはスリ

ープ148がはめこんである。ハウジング143のフランジ部145には止めネジ用穴146がいくつか穿孔される。これは受光素子側の雌型コネクタの構造である。

【0099】光ファイバ側の雄型コネクタ150は、ファイバコード152の先端にハウジング151を取り付けている。ファイバ154の先端はフェルール155によって保護される。フェルールは摺動性に優れた材料、たとえばジルコニヤなどで作る。フェルール155はハウジング151を貫いている。ハウジング151の側面には嵌合用の袋ナット153を設ける。さらにハウジング側面にはキ156があって受光素子側の位置決め穴に挿入されてコネクタ同士の位置決めをする。

【0100】フェルール155をスリーブ148に差し込んで、袋ナット153を雄螺部147に螺合させる。ナット153を締め付ける事によってコネクタを一体化できる。ファイバ154はダミーファイバ141の後端面に接触しここの光の反射が0になる。光ファイバから出た光は、ダミーファイバ141を通り、端面から出てレンズ126で集光され、PDチップ70に入る。レセプタクルタイプであるから、モジュールに光ファイバを自在に着脱することができる。

【0101】

【発明の効果】以上のように本発明は、フォトダイオード自体に、フィルタ機能を持たせている。フィルタ機能があるので、2波長光通信における受信器として、安価で使いやすいモジュールを提供することができる。2波長通信系において波長分波器は使うけれども消光比の不足を補完する誘電体膜フィルタは不要になる。以上に述べたものは、2波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ として、 $1.3\mu\text{m}$ と $1.55\mu\text{m}$ の組み合わせ(a)せである。2波長系であればどのような組み合わせのものでも本発明を適用できる。実現性の高い2波長の組み合わせは(a)の他にも、

【0102】

(b)  $0.98\mu\text{m}$ と $1.3\mu\text{m}$ の組み合わせ

(c)  $1.3\mu\text{m}$ と $1.65\mu\text{m}$ の組み合わせ

(d)  $1.55\mu\text{m}$ と $1.65\mu\text{m}$ の組み合わせ

【0103】などがある。これらの $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の組み合わせ等にも本発明を同様に適用することができる。これらはInP系の受光素子であって受信波長も長いものである。そのほかにより波長が短いGaAs系の受光素子等にも利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】波長多重双方向通信の概略説明図。

【図2】 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光を分波器によって結合して1本の光ファイバに入射し、 $\lambda_1 + \lambda_2$ として導くような分波器の説明図。

【図3】 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の光を互いに分波器の反対側から入射して、一方の側では同じファイバに、他方の側では異なる側に取り出すようにした分波器の説明図。

【図4】多層膜ミラーを利用した分波器の説明図。

【図5】従来の加入者側の光送受信モジュールの構成例。

【図6】従来例に係る半導体受光素子の縦断面図。

【図7】従来例に係るフォトダイオードの縦断面図。

【図8】従来のフォトダイオードチップの感度特性図。

【図9】従来例に係るフォトダイオードに異なる二つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を入射したとき、いずれの光も受光層に到達して光電流を生ずるということを説明する断面図。

【図10】InGaAsP ( $\lambda_g = 1.42\mu\text{m}$ ) 層の光透過率のグラフ。横軸は波長( $\mu\text{m}$ )、縦軸は透過率(%)。

【図11】n-InP基板の裏面にn-InGaAsPフィルタ層を設けた本発明の第1の実施例にかかるフォトダイオードチップの断面図。

【図12】n-InP基板の裏面にp-InGaAsPフィルタ層を設けた本発明の第2の実施例にかかるフォトダイオードチップの断面図。

【図13】図12のフォトダイオードチップの等価回路図。

【図14】n-InP基板の裏面にn-InGaAsPフィルタ層を設けさらにZn拡散をしてInGaAsPフィルタ層の内部にpn接合を作製した本発明の第3の実施例にかかるフォトダイオードチップの断面図。

【図15】図14のフォトダイオードチップの等価回路図。

【図16】図14に示した本発明の実施例にかかるチップを上下逆にしてサブマウントに取り付け円筒形のパッケージに実装した受光素子の断面図。

【図17】導波路、光ガイド、光ファイバなど光伝送媒体の終端を斜めに切り、図14に示した本発明の実施例にかかるチップを、媒体の側面に直接取り付けこれら光媒体を伝搬した光をPDチップによって検出するようにしたものの断面図。

【図18】本発明の受光素子チップをサブマウントに側面が面一になるように固定しガイドブロックに寝かせて固定し光ファイバの終端もガイドブロックによって固定して光ファイバからの出射光を受光素子によって感受するようにした検出器の断面図。

【図19】金属ステムに本発明の裏面入射型受光素子をサブマウントを介して取り付け、レンズ付きキャップによって覆ったパッケージ入り受光素子の実施例を示す断面図。

【図20】本発明の裏面入射型PD素子を取り付けたステムと、フェルールに固定した光ファイバを、フェルールホルダーを介して一体化したビッグテイル型受光素子モジュールの縦断面図。

【図21】本発明の裏面入射型PD素子を取り付けたステムと、フェルールに固定した光ファイバとを結合分離可能としたレセプタクル型モジュールの縦断面図。

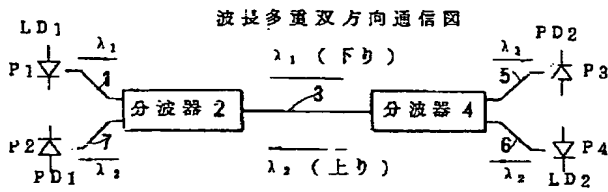
【図22】本発明のよって立つ原理を説明するための真性半導体のバンド図。

【図23】本発明のよって立つ原理を説明する為の、浅い不純物準位を有する半導体のバンド図。

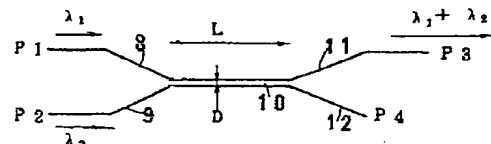
【符号の説明】

- |                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| 1 光ファイバ                         | 65 反射防止膜          |
| 2 分波器                           | 66 PDチップ          |
| 3 光ファイバ                         | 67 p-InGaAsPフィルタ層 |
| 4 分波器                           | 68 pn接合露出部        |
| 5 光ファイバ                         | 69 p-Zn拡散層        |
| 6-- 光ファイバ                       | 70 PDチップ          |
| 7 光ファイバ                         | 71 ステム            |
| 10 波長分波器の結合部(近接部)               | 72 アノードピン         |
| 11 光ファイバ                        | 73 ケースピン          |
| 12 光ファイバ                        | 74 カソードピン         |
| 13 ガラスブロック                      | 75 サブマウント         |
| 14 ガラスブロック                      | 76 ワイヤ            |
| 15 誘電体多層膜                       | 77 キャップ           |
| 17 光コネクタ                        | 78 集光レンズ          |
| 20 光ファイバの結合部                    | 79 メタライズパターン      |
| 21 光ファイバ型波長分波器                  | 81 光ファイバ          |
| 22 光コネクタ                        | 82 光導波路、光ガイド      |
| 23 光コネクタ                        | 83 傾斜切断面          |
| 25 発光素子モジュール                    | 90 ガイドブロック        |
| 27 受光素子モジュール                    | 98 サブマウント         |
| 41 受光素子チップ                      | 111 ステム           |
| 42 ヘッド                          | 112 リードピン         |
| 43 ピン                           | 113 リードピン         |
| 44 キャップ                         | 114 リードピン         |
| 45 窓                            | 118 絶縁性接着材        |
| 46 レンズホルダー                      | 120 PD用サブマウント     |
| 47 レンズ                          | 121 ワイヤ           |
| 48 ハウジング                        | 124 キャップ          |
| 49 フェルール                        | 126 レンズ           |
| 50 光ファイバ                        | 130 光ファイバ         |
| 51 フェルールの斜め端面                   | 133 フェルールホルダー     |
| 52 n-InP基板                      | 134 ベンドリミッタ       |
| 53 n-InPバッファ層                   | 136 フェルール         |
| 54 n-InGaAs受光層                  | 137 斜め研磨端面        |
| 55 n-InP窓層                      | 140 LD固定フランジ      |
| 56 亜鉛拡散領域                       | 141 ダミーファイバホルダー   |
| 57 環状p電極                        | 142 ダミーファイバ       |
| 58 反射防止膜                        | 143 雌型光コネクタ       |
| 59 パッシベーション膜                    | 145 フランジ部         |
| 60 n電極                          | 146 止めネジ用穴        |
| 61 PDチップ                        | 147 雄ねじ部          |
| 62 p電極                          | 148 スリーブ          |
| 63 n <sup>+</sup> -InGaAsPフィルタ層 | 150 雄型光コネクタ       |
| 64 環状n電極                        | 151 ハウジング         |
|                                 | 152 光ファイバコード      |
|                                 | 153 嵌合用袋ナット       |
|                                 | 154 光ファイバ         |
|                                 | 155 フェルール         |
|                                 | 156 方向を決めるためのピン   |

【図1】

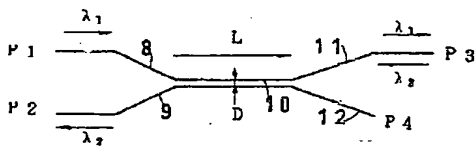


【図2】

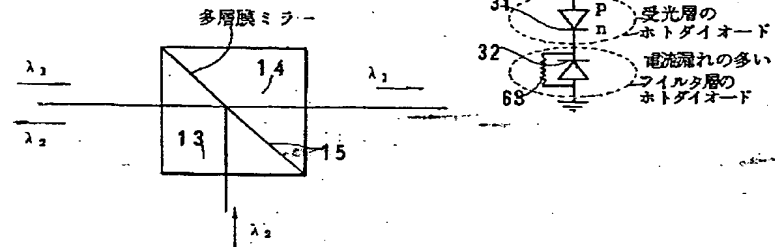


【図13】

【図3】

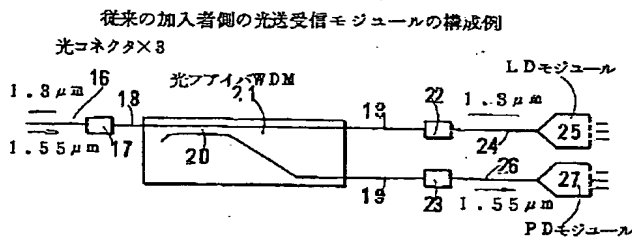


【図4】



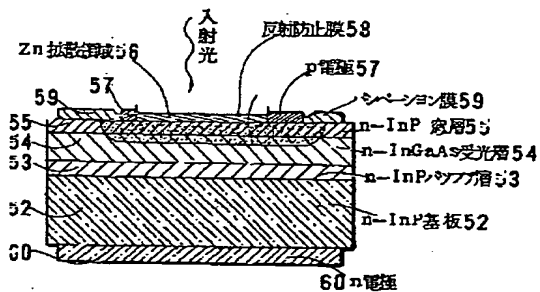
【図5】

【図6】

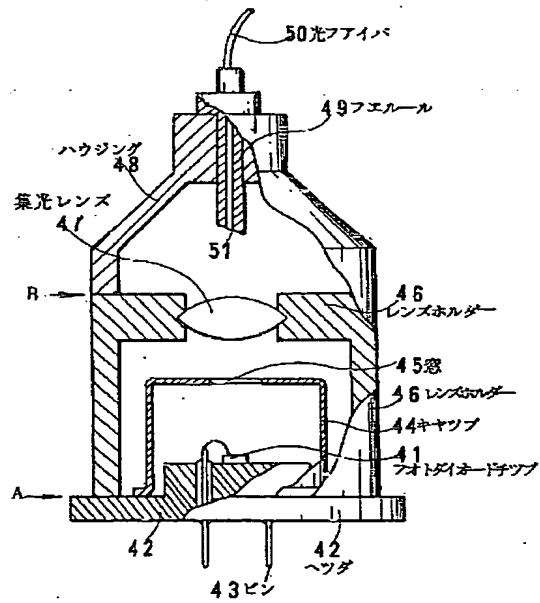


【図7】

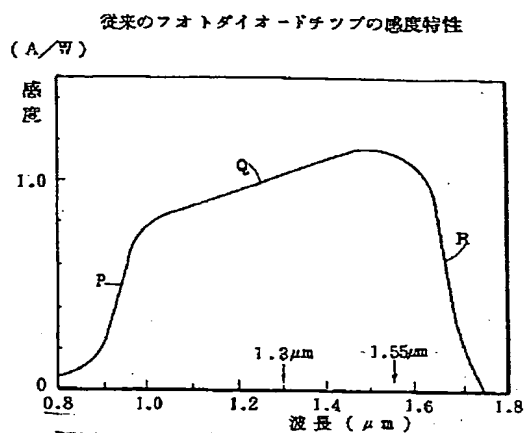
従来のフォトダイオードチップ



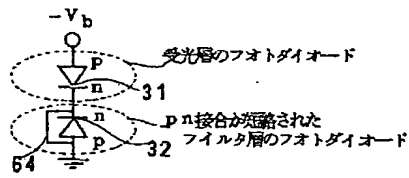
従来の半導体受光素子



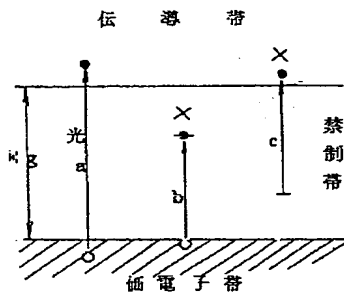
【図8】



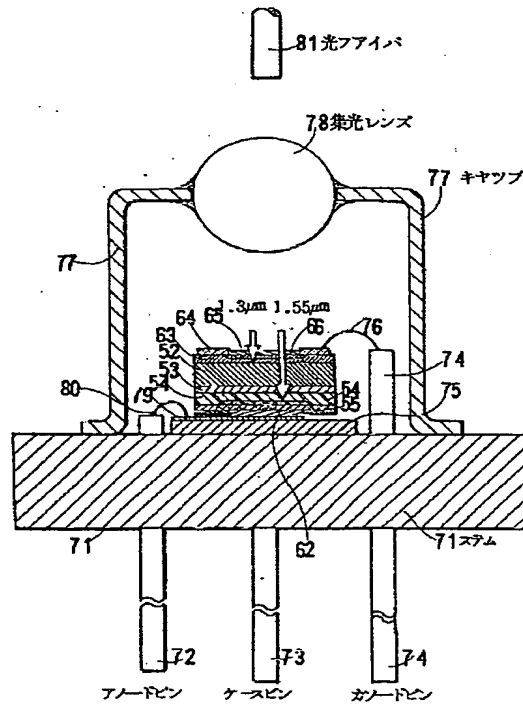
【図15】



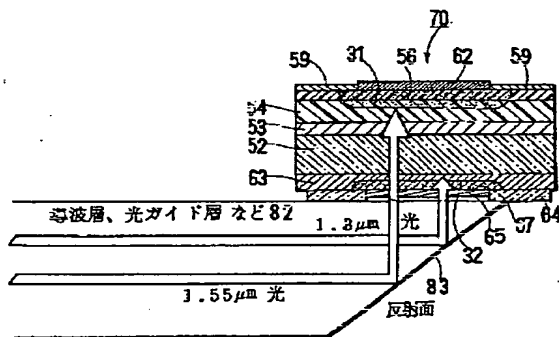
【図22】



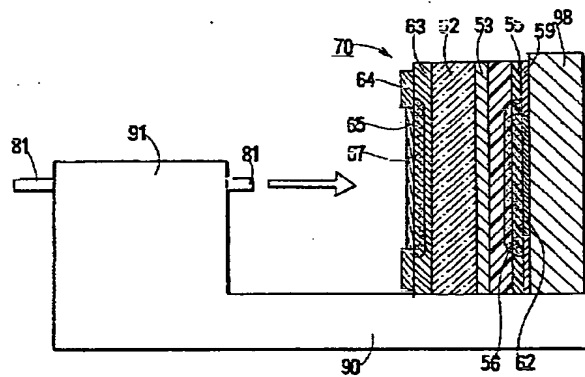
【図16】



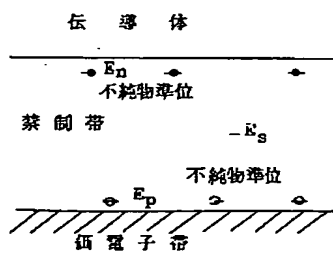
【図17】



【図18】

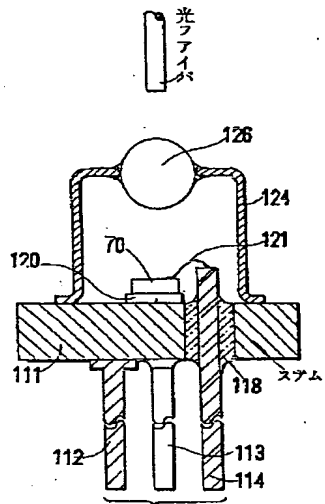


【図23】

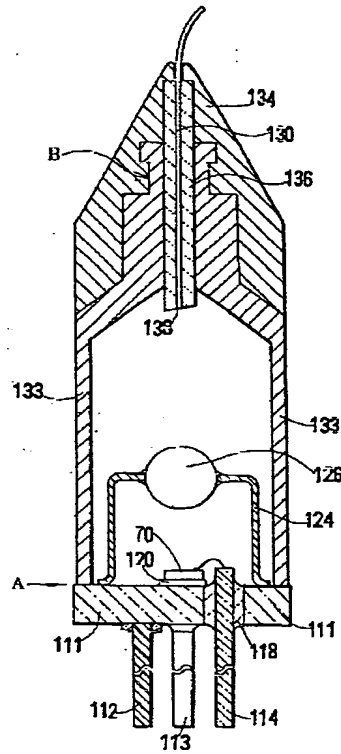




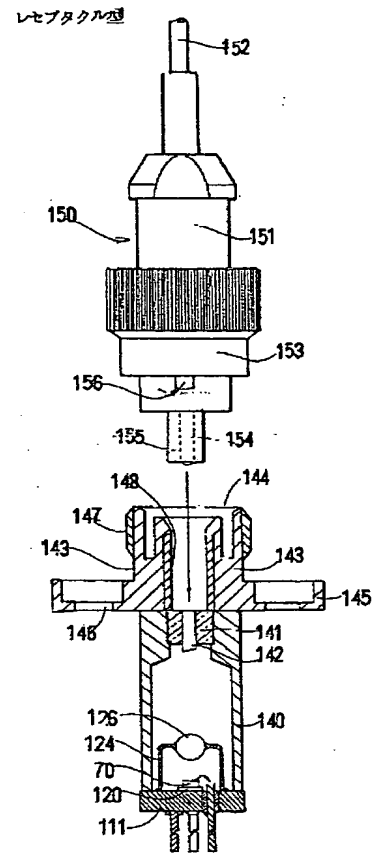
【図19】



【図20】



【図21】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**